

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF

POTENCIÁL VYUŽITÍ VĚTRNÉ ENERGIE V ČESKÉ REPUBLICE

POTENTIAL OF UTILIZATION OF WIND ENERGY IN THE CZECH REPUBLIC

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

IVO KOLAŘÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JAN KOŠNER Ph.D.

BRNO 2008

ABSTRAKT

Bakalářská práce pojednává o potenciálu využití větrné energie v České republice.

Práce obsahuje seznámení s větrnou mapou na území České republiky, posouzení reálného využití energie větru pro výrobu elektrické energie a navržení kritérií pro výběr nejvhodnější lokality pro stavbu větrné elektrárny.

ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with a potential of wind energy utilization in the Czech Republic.

This thesis contains description of the wind map of the Czech Republic, analysis of possibility of wind energy utilization for electric energy generation as well as suggestion of criteria for choosing the most suitable for wind turbine construction.

KLÍČOVÁ SLOVA

Větrná energie, větrné elektrárny, větrná mapa České Republiky

KEY WORDS

Wind energy, wind turbine, wind map of the Czech Republic

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOLAŘÍK, I. *Potenciál využití větrné energie v České republice*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 34s.
Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Košner, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Potenciál využití větrné energie v České republice* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

.....
Ivo Kolařík

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Janu Košnerovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Obsah

Úvod.....	6
1 Měření charakteristik větru	8
1.1 Vlastnosti větroměrných přístrojů, jejich přednosti a nedostatky	8
1.2 Okolnosti ovlivňující výsledky měření.....	9
1.3 Vliv námrazy na měření rychlosti větru.....	10
1.4 Umístění čidel	11
1.5 Meteorologický stožár	11
2 Modely pro vyhodnocení větrného potenciálu na území ČR s malým krokem sítě.....	12
2.1 Hybridní model VAS/WAsP	12
2.1.1 Metoda VAS	12
2.1.2 Metoda WAsP	12
3 Technické parametry větrné elektrárny vybraného výrobce Wikov Wind .	17
3.1 Specifikace	19
4 Reálné možnosti využití větrné energie pro výrobu elektrické energie na území České Republiky.....	22
5 Kriteria pro výběr nejvhodnější lokality pro stavbu větrné elektrárny.....	23
5.1 Všeobecné požadavky	23
5.2 Předběžné posouzení	23
5.3 Vliv blízkého a vzdáleného okolí na proudění	23
5.4 Metody výpočtu větrných charakteristik a výsledky výpočtu.....	24
5.5 Výpočet ztrát stíněním.....	24
5.6 Hlukové emise stroboskopický efekt	24
5.7 Produkce elektrické energie blízkou větrnou elektrárnou	24
5.8 Závěrečné vyhodnocení	25
Závěr	26
Seznam použitých zdrojů	27
Seznam použitých zkratk a symbolů	28
Seznam příloh	29

ÚVOD

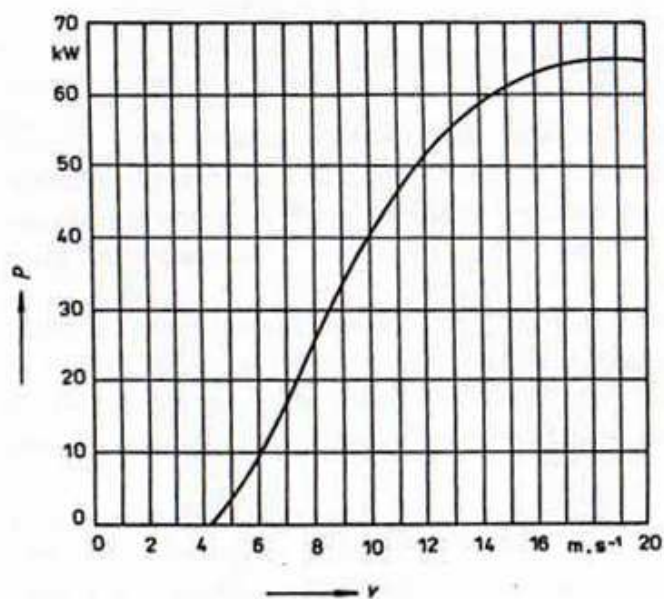
Elektrickou energii můžeme nazvat krví celé společnosti, bez níž by v dnešní pokročilé době, nemohla existovat. Současný směr výroby elektrické energie převažuje ve zpracování neobnovitelných zdrojů energie jako jsou například fosilní paliva a uran. [4] Je známo, že v blízké budoucnosti dojde k jejich nenávratnému vyčerpání. Česká republika produkuje ročně asi 12 tun exhalací oxidu uhličitého na obyvatele, čímž se řadí mezi největší producenty oxidu uhličitého z celé Evropské unie. Emise tohoto skleníkového plynu jsou hlavní příčinou globálních změn podnebí. Vědci se shodují, že budou mít za následek stále častější extrémní výkyvy počasí, které povedou ke zvednutí mořské hladiny a zatopení hustě osídlených pobřežních oblastí. [4]

V poslední době na řadu přichází využívání alternativních obnovitelných zdrojů energie. Mezi ně patří bezpochyby i vítr, který můžeme zařadit mezi nevyčerpatelné a lze jej následnou transformací pomocí větrných motorů přeměnit na energii elektrickou.

Vítr je pohyb vzduchu způsobený rozdíly atmosférického tlaku. Rozdíly atmosférického tlaku jsou závislé na hustotě a teplotě vzduchu. Rychlost větru je dán prouděním vzduchu z míst tlakové výše do oblasti tlakové níže, kde je vzduch řidší, a tedy lehčí. Čím větší je rozdíl tlaku vzduchu, tím je pohyb větru rychlejší. [1]

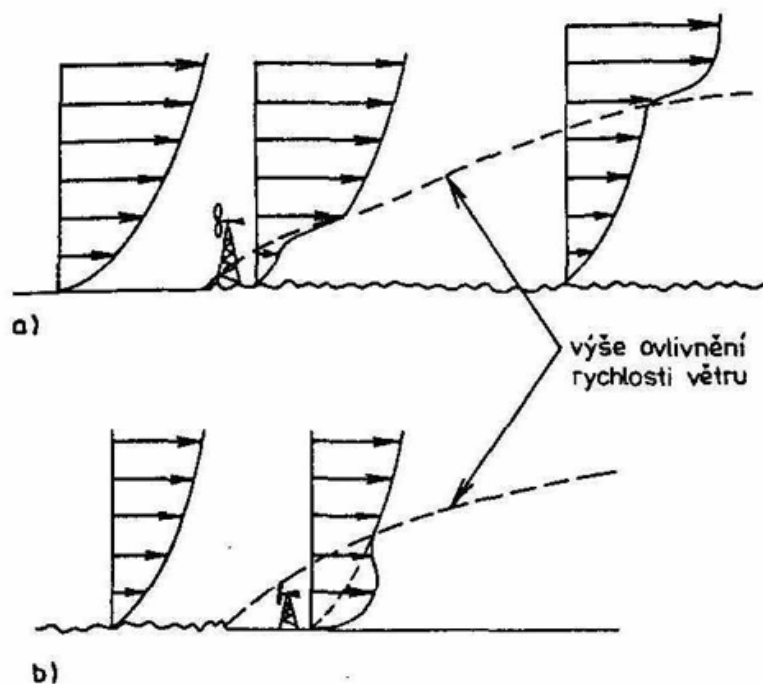
Větrné motory se používají k přeměně kinetické energie větru na mechanickou práci, jejichž funkce spočívá v tom, že zpomalují proud vzduchu, který protéká jejich pracovní plochou a tím odnímají část jeho energie. Vyrábějí se do výkonů až několika megawatt. Ukázka výkonové charakteristiky je na obr. 1. Nejdůležitějším prvkem větrného motoru pracujícím na vztakovém principu je list nebo lopatka, které mohou být posuzovány jako rotující křídlo. Větrné motory mají rozsáhlé uplatnění, které je možno rozdělit do několika skupin: výroba elektrické energie, čerpání vody nebo na mechanické pohony. [1]

Přesné určení výnosu projektu výstavby větrné elektrárny či farmy větrných elektráren je na jedné straně pro investora výchozím parametrem pro rozhodování, na druhé straně je však spojeno s nepřesnostmi, které vycházejí z často nízké kvality výchozích dat, jsou spojeny s omezenými možnostmi současných matematických metod a zahrnují i odchylky reálných hodnot od ideálního stavu výkonové křivky a to zvláště v členitém horském terénu. K nepřesnostem může přispět i stanovení vertikálního profilu rychlosti



Obr. 1 ukázka výkonové charakteristiky větrné elektrárny [1]

větru výpočtem viz. obr.2, kdy nad hranicí přízemní vrstvy atmosféry použití logaritmického vztahu vede k významným odchylkám. [2]



Obr. 2 vliv změn drsnosti na tvar rychlostního profilu blízkosti zemského povrchu

- a) změna povrchu z hladkého na drsný,
- b) změna povrchu z drsného na hladký [1]

1 MĚŘENÍ CHARAKTERISTIK VĚTRU

1.1 Vlastnosti větroměrných přístrojů, jejich přednosti a nedostatky

Vlastnosti větroměrných přístrojů pramení z jejich konstrukcí. Ve své podstatě jde o čtyři základní principy měření rychlosti větru:

dynamický – anemometry s pitotovou trubicí, měřící rozdíl mezi celkovým a statickým tlakem větru v plovákové komoře. Vlastní čidlo je plováková komora, kam se celkový tlak přenáší. Záznam je prováděn na registrační pásku, na dnešní dobu poměrně složitou mechanickou cestou. Nevýhodou tohoto měření je poměrně vysoký práh citlivosti (okamžik, kdy se přístroj pod tlakem proudícího vzduchu rozeběhne), náchylnost na námrazu. V současné moderní době se od tohoto principu měření, starého téměř 80 let, upouští. [2]

lopatkový (čelní vrtule) – zařízení snímající směr a rychlost pomocí směrovky a lopatkového kola nebo vrtule, natáčejícího se proti větru plochou rotujících lopatek, které přenášejí točivý moment pomocí radiální hřídele na dynamo, vyrábějící stejnosměrný proud, jehož hodnoty se napěťově nebo proudově přenášejí do vyhodnocovací části, kalibrované přímo v jednotkách rychlosti větru. Výhodou je poměrně nízký práh citlivosti, nevýhodou velká čelní plocha a tím náchylnost pro zachycení sebemenší námrazy a tím znehodnocení měření parametrů větru a poměrně velká setrvačnost rotujících částí. Přístroje jsou náchylné na mechanické závady, vyžadují pečlivou údržbu a časté kontroly. [2]

miskový viz. obr. 1.1 - čtyř nebo tříramenný horizontální věnec s polokulovými miskami axiálně uložený, převádějící točivý moment na tachodynamo, opět vyrábějící proud nebo napětí, které se přepočtem zobrazuje na displeji přímo v jednotkách rychlosti. Směr větru je snímán optoelektronicky. Tyto přístroje se vyrábějí buď jako celek (kříž se směrovkou) nebo odděleně. Nevýhodou je omezená možnost vyhřívání jako ochrany proti námraze vzhledem k vysychání maziva ložisek při použití vyšší teploty a jejich choulostivost. Rovněž linearita hodnot měření je při vyšších rychlostech znehodnocena vlastním odporem rotujících misek. [2]



obr. 1.1 Anemometr [5]

ultrasonické anemometry a sodary viz. obr. 1.2 - oba typy přístrojů pracují na principu šíření a odrazu zvukových vln od různě hustých vrstev. Jejich výhodou je absence točivých částí, čili chybí mechanické převody, ve kterých se ztrácí část energie a které jsou zdrojem poruch. Tyto přístroje

jsou dražší, však díky možnosti lepší ochrany před námrazou spolehlivější.
[2]



Obr. 1.2 Ultrasonický anemometr [6]

1.2 Okolnosti ovlivňující výsledky měření

Metody měření rychlosti a směru větru závisí na požadavcích, za kterých měření probíhá. Pro meteorologické účely se například provádí měření parametrů větru (směr, rychlost a nárazy větru) podle metodiky dané Světovou meteorologickou organizací 15 minut před každou celou hodinou. Pro účely zabezpečení letectví se používají buď desetiminutové průměrné hodnoty každé půl hodiny pro obecnou informaci nebo klouzavé dvouminutové průměry pro bezprostřední informaci posádek letadel při startu nebo přistání. Za nárazy větru se v tomto případě považují okamžitá zrychlení proudění, která trvají alespoň 3 sec a liší se od průměrné hodnoty rychlosti větru alespoň o 5 m/sec. Pro klimatické účely se vítr měří 3x denně: v 7, 14 a 21 hod. místního času a předpisem je stanoven průměrovací interval 4 minuty. V současné době se díky nástupu automatizace měření na meteorologických stanicích klimatické hodnoty „vytahují“ z kontinuálního měření automatických stanic, u nichž je vzorkovací doba 15 minut. [2]

Pro účely stavebnictví, v povrchových dolech nebo tam, kde jsou zařízení s dlouhými rameny ve velkých výškách (jeřáby, velkorypadla), se používají signální anemometry, kde není třeba sledovat průměrné hodnoty větru a jeho vývoj, ale okamžité hodnoty, přesahující výrobcem danou mez z důvodů bezpečnosti provozu zařízení. Totéž se týká větrných elektráren, kde jsou hodnoty z anemometru umístěného na gondole strojovny základem pro automatické nastavování úhlu náběhu listů rotoru, popřípadě nastartování a odstavení elektrárny při překročení kritických rychlostí větru. Jiné budou požadavky na metody a výsledky měření při výzkumu či mapování větrných podmínek ve vybraných lokalitách. Ve všech případech jsou tak nároky

na vypovídající hodnoty výsledku měření různě vysoké. Obecně lze říci, že pro běžné účely vystačíme s výsledky, kde je směr větru prezentován s přesností na desítky stupňů zeměpisné stupnice (010° - 360° , 0° je v p řípadě klidu) a rychlost v celých jednotkách. Měření je prováděno kontinuálně a hodnoty jsou prezentovány průměrem. Pro případ výzkumu nebo měření pro specifické účely jsou však nároky vyšší. Soupravy pro měření parametrů větru snímají údaje v sekundových intervalech a pomocí procesorů, kam se ukládají, jsou přepočítávány na požadované průměrné hodnoty, zapisované do paměti zařízení. V tomto případě je požadavek na přesnost hodnot poněkud vyšší. Pro účely dalšího statistického zpracování je požadováno měření směru větru s přesností na 1° zeměpisné stupnice a rychlost na desetiny m/s. Současná elektronika oba požadavky dostatečně splňuje. [2]

Je nutné mít na paměti, že dostáváme data z přístrojů, které jsou zatíženy určitými chybami v měření, danými jejich konstrukcí a umístěním. Každý anemometr má určitý práh citlivosti, který závisí na setrvačnosti hmoty rotujících částí a tření v ložiskách. Podle typu přístrojů leží prahová citlivost mezi 0,2 - 0,8 m/s. [2]

Jiná chyba měření, která vede k nadhodnocení rychlosti a označuje se jako overspeeding efekt má následující důvod: v důsledku setrvačnosti pohyblivé části anemometru nejsou optimálně zachyceny změny rychlosti větru. Na základě aerodynamických vlastností může miskový anemometr reagovat na náhlé zvětšení rychlosti větru rychleji než na zmenšení rychlosti. V důsledku rozdílů projevujících se mezi silícím a slábnoucím větrem, obdržíme při nárazovitém větru či při turbulentním proudění v průměru vyšší rychlosti větru než ve skutečnosti jsou. Např. při intenzitě turbulence 20 % se tato chyba pohybuje v rozmezí 0,2 až 0,4 % rychlosti větru. [2]

U ultrasonických anemometrů nastává problém při intenzivnějších srážkách a námraze, kdy jsou vysílače a mikrofony zalepeny kapkami vody, vločkami sněhu nebo krystaly námrazy. Při jejich vypařování nebo tání může na čidlech zůstat zbytek kondenzačních jader, které znečištěním citlivých elementů značně zkreslí výsledky měření. [2]

1.3 Vliv námrazy na měření rychlosti větru

Námraza je jedním z faktorů, který v zimním období velmi znehodnocuje měření parametrů větru. Různí výrobci eliminují vliv námrazy různým řešením anemometru tak, aby bylo získáváno co nejvíce věrohodných výsledků, např. vyhřívání a dělené přístroje. Jak již bylo výše uvedeno, přístroj může být konstruován buď jako celek, nebo měření rychlosti a směru větru zvlášť. V případě kompaktního přístroje je otázka vyhřívání složitější. Těleso anemometru se vyhřívá na vnitřní teplotu nejvýše 25°C , protože při vyšších teplotách se vypařují maziva ložisek. Při silné námraze to však nestačí. Teplo se jen obtížně přenáší na směrovku a rotující část anemometru. Dochází tak k jeho zamrznutí. Vzhledem k tomu, že u mobilních zařízení není stálá obsluha, nastává problém stanovit, kdy začala být námraza tak intenzivní, že již ovlivnila čistotu přístroje a měření parametrů větru je již nereprezentativní. Totéž se týká i odeznění námrazy, tedy okamžiku, kdy námraza přestala vlivem ohřevu přístroje měření ovlivňovat. Tento případ je méně častý u vytápěných ultrasonických přístrojů. [2]

1.4 Umístění čidel

Důležitou roli hraje umístění čidel na různých objektech. Pokud je k dispozici vysoká budova (střecha domu, silo), je nutné vyloučit vliv turbulence vznikající při proudění přes střechu objektu. Dosahuje se toho pomocí stožáru, který by měl být vysoký podle plochy střechy pod jeho patou. Pokud jde o nepoužívaný komín, stačí tyč o výšce 3m nad korunou komínu. Komín, který je v provozu, je pro jakékoliv měření nevhodný. Jedná-li se o hřebenovou střechu domu, je doporučeno umístit čidlo na tyč převyšující hřeben o 6 -10m. Nesmíme zapomenout, že se musí jednat o nejvyšší bod v okolí (osaměle stojící dům, komín atd.). Umístění na střeše domu nebo jiného objektu, který je obklopen dalšími vyššími překážkami (vyšší domy, další komín v těsné blízkosti, vzrostlé stromy atd.), je pro měření nevyhovující. [2]

Podobný problém nastává pokud pro měření použijeme trubkový (sloupový) stožár s cílem provádět měření v několika úrovních. Podle zahraničních zkušeností by měl být přístroj umístěn na výložníku, jehož rameno je sedminásobnou délkou průměru sloupového stožáru. Podle našich zkušeností je lepší, je-li čidlo umístěno na rameni, které je v délce desetinásobkem průměru stožáru. I tak se ještě na přístroji při vyšších rychlostech projevují vlivy závětrné turbulence. U příhradového stožáru jsou měření zatížena v porovnání s trubkovými stožáry daleko většími chybami vyvolanými turbulencí při profoukávání stožáru a zeslabením proudění. Druhým problémem pak je případná potřeba výměny poškozeného anemometru. Z toho důvodu můžeme připustit měření na takovém stožáru jen v případě, že bude vybaven nejméně dvěma čidly ve stejné výškové úrovni. [2]

1.5 Meteorologický stožár

Tyto stožáry se pro potřebu měření parametrů větru osazují nejen anemometry, ale také teploměry pro potřeby výpočtů profilů proudění a turbulencí. Jejich výška je závislá na požadavku objednatele a možnostech dodavatelů. V podstatě jde o stožáry 20-ti až 50-ti metrové. V zahraničí se provozují stožáry o výšce 30, 50, 80, 100 i 120 m. Čidla se umísťují v patrech po 10 až 20 metrech. Napájení zařízení je voleno od připojení k síti 220 V přes adaptéry nebo pomocí baterií 12 V či solárních článků. [2]

Výška stožáru se volí podle tvaru terénu a podle předpokládané výšky budoucího objektu, pro jehož stavbu se měření provádí. Stožár je nutno stavět na základě stavebního povolení k přechodné stavbě a protože je svojí výškou podstatou překážkou, je nutné ho podle místních podmínek a tvaru terénu opatřit výstražným nátěrem, popřípadě osadit výstražným osvětlením podle požadavků stavebního úřadu. [2]

Závěry měření slouží jako podklad pro posudkové posouzení a dají se použít jako základní data pro výpočet pomocí modelů, které mohou nabídnout nejvhodnější umístění, popřípadě rozmístění věží větrných elektráren. [2]

2 MODEL Y PRO VYHODNOCENÍ VĚTRNÉHO POTENCIÁLU NA ÚZEMÍ ČR S MALÝM KROKEM SÍTĚ

2.1 Hybridní model VAS / WAsP

Hlavní metodou výpočtu polí průměrné roční rychlosti je aplikace kombinace modelů WAsP a VAS, kterou označujeme jako hybridní model. První z nich byl použit k odstranění lokálních vlivů orografie nebo-li členitosti krajiny, změn drsnosti povrchu a především překážek. Druhý model sloužil k interpolaci získaných klimatologických charakteristik v hrubším rozlišení do plochy celého státu. Měl tak za úkol postihnout trendy vzniklé vlivem větších orografických útvarů. Jedná se o třetí verzi modelu – VAS3 – pro jednoduchost v následujícím textu označený jako VAS. [2]

2.1.1 Metoda VAS

Meteorologická měření rychlosti a směru větru vstupují do modelu spolu s kartézskými souřadnicemi místa v třírozměrném prostoru. Jsou považována za funkční hodnoty třírozměrné funkce, jejíž řešení v ostatních bodech prostoru metoda vypočítává. [2]

Použitá metoda interpolace je založena na postupu systému Mezoma. Mezi její předpoklady patří především dostatečná hustota vstupních meteorologických stanic a reprezentativnost naměřených dat v širším okolí stanice z hlediska orografie, drsnosti povrchu a dalších vlivů. Pokud používáme přímo naměřená data, nejsou tyto předpoklady v dostatečné míře splněny – to znamená, aby byla zachována dostatečná síť míst měření, je třeba vybrat i méně kvalitní a méně reprezentativní stanice. [2]

Výstupem modelu VAS jsou tak pole vypočtených hodnot na základě orografie a dále pole vertikálních gradientů proměnné a hodnot na referenční hladině. Pro každou konkrétní lokalitu, pro kterou většinou můžeme určit nadmořskou výšku přesněji než ze čtverce rastrového digitálního modelu reliéfu, tak lze transformaci z referenční hladiny provést zvlášť. Pokud jde o horizontální krok sítě interpolace, je pro model VAS vhodné rozlišení v řádu kilometrů (v této aplikaci byl použit ověřený horizontální krok 2km). [2]

2.1.2 Metoda WAsP

Model WAsP představuje model proudění v přízemní vrstvě atmosféry složený z dílčích modelů postihujících různé účinky zemského povrchu na větrné charakteristiky. Postup určení větrného potenciálu daného místa můžeme rozdělit na tři kroky:

1. Výpočet regionálních klimatologických charakteristik (Wind Atlas analysis model)
2. Aplikace regionálních klimatologických charakteristik (Wind Atlas application model)
3. Výpočet roční produkce energie v daném místě

První krok popisuje *schéma 2.1*. Naměřená data jsou zpracována do histogramů, u nichž jsou jednotlivými modely pro drsnost, orografii a případně i překážky přepočteny mezní hodnoty. Opravené histogramy jsou dále vertikálně posunuty do standardních hladin 10, 20, 50, 100 a 200 m. Teprve potom jsou z nich určovány parametry Weibullova rozdělení. [2]

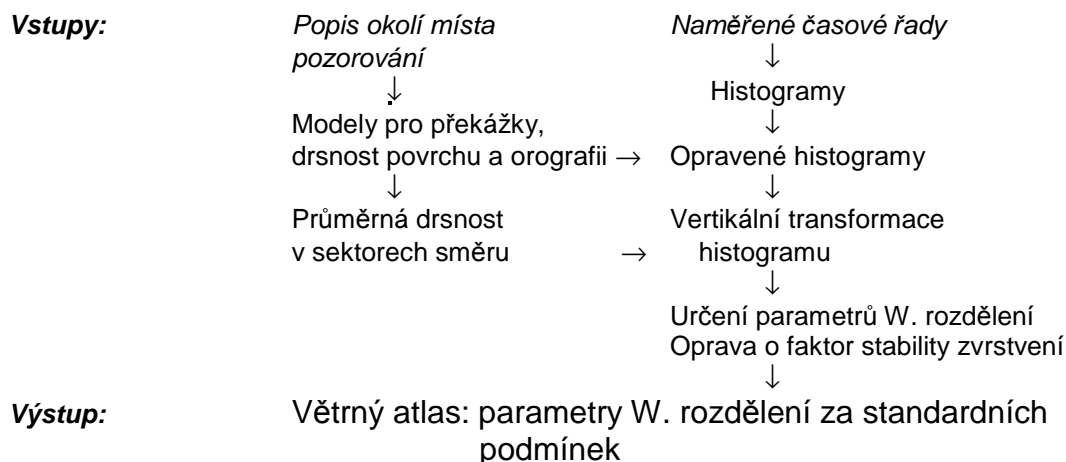
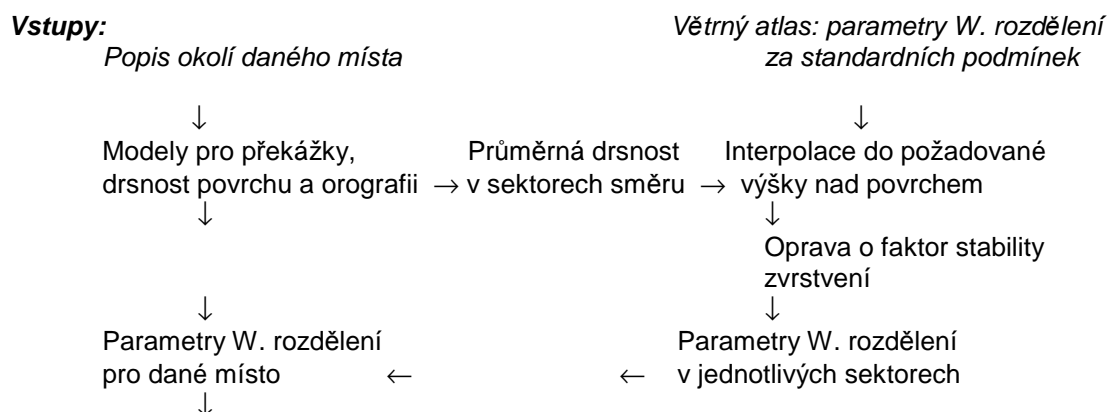


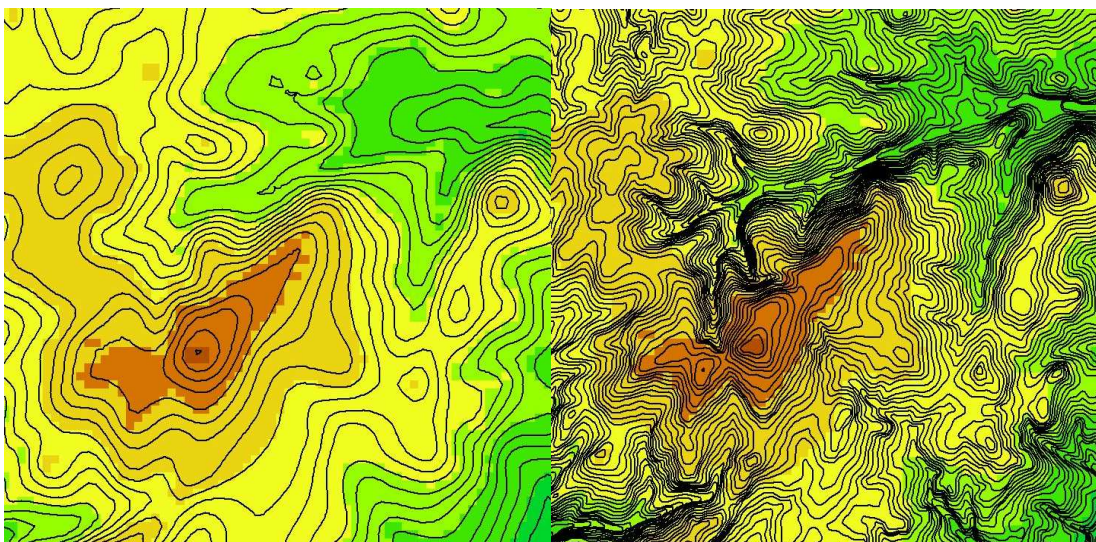
Schéma 2.1 Výpočet regionálních klimatologických charakteristik (Wind Atlas analysis model) [2]

Výsledek prvního kroku představují regionálně platné charakteristiky pro standardní podmínky. V druhém kroku jsou opět použity k určení lokálního větrného klimatu. Druhý krok tak probíhá v opačném směru. Rozdílem je fakt, že se nepoužívají histogramy, ale pracuje se přímo s parametry Weibullova rozdělení. Opět je třeba aplikovat modely pro orografii a drsnost povrchu, pouze v opačném smyslu. Proces je naznačen na *schématu 2.2*. [2]



Výstup: Odvozené charakteristiky – střední hodnoty, hustota výkonu, atd.

Schéma 2.2 Aplikace regionálních klimatologických charakteristik (Wind Atlas application model) [2]



Obr. 2.1 Orografie 100x100m a
vrstevnice interpolované
v intervalu 10m [2]

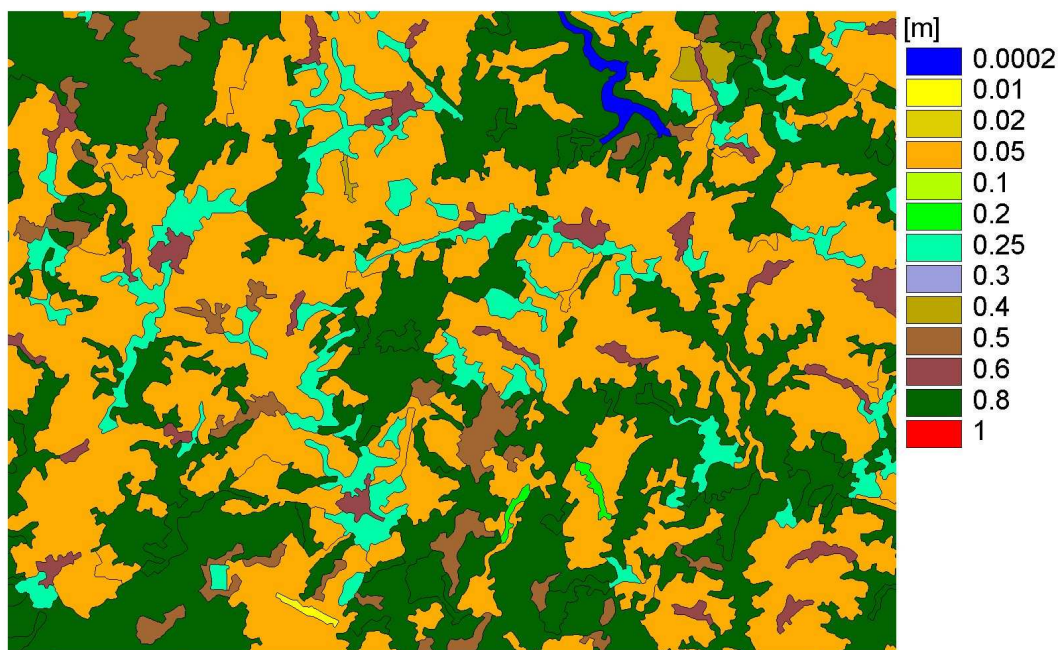
Obr. 2.2 Orografie 100x100m a
digitální mapa území
1:25000 s intervalem 5m [2]

Parametr drsnosti povrchu patří k nezbytným vstupům většiny meteorologických modelů viz. obr. 2.1 a 2.2. Představuje v nich důležitou okrajovou podmínku k řešení rovnice vertikálního profilu rychlosti větru. Pro jednotlivá místa je nejlepším způsobem určení parametru drsnosti povrchu v požadovaném místě uskutečnit profilová měření rychlosti větru a teploty. Tyto experimenty jsou však velmi časově a materiálně náročné a navíc jimi lze pokrýt jen nejbližší okolí meteorologického stožáru, na němž jsou přístroje umístěny. Pro výpočty nad větší plochou je nejvhodnějším a často jediným způsobem určení parametru drsnosti povrchu odhad na základě typu povrchu, který se v daném místě vyskytuje. [2]

Tabulka 2.1 obsahuje hodnoty vztahované k typu povrchu. Příklad rozložení parametru drsnosti povrchu zobrazuje obr. 2.3. Vzhledem k tomu, že výška nad povrchem se skutečně počítá od určité hladiny uvnitř vrstvy překážek ovlivňujících profil větru, není parametr drsnosti jen vstupem do modelu, ale i vodítkem k určení výšky, pro kterou je vítr modelován. Ačkoliv v místech, kde se dá předpokládat stavba větrné elektrárny, dosahuje parametr drsnosti povrchu jen nízkých hodnot a povrch je velmi dobře definován. [2]

Kategorie	z_0 (m)
<i>vodní plochy</i>	0.0002
<i>letiště, holé skály</i>	0.02
<i>orná půda, louky, pastviny</i>	0.05
<i>zemědělská krajina s příměsí přirozené vegetace</i>	0.1
<i>vinice, ovocné sady</i>	0.3
<i>komplexní systémy kultur a parcel</i>	0.4
<i>střídající se lesy a křoviny</i>	0.5
<i>zástavba, průmyslové zóny</i>	0.6
<i>lesní porosty</i>	0.8

Tab. 2.1 Charakteristické hodnoty parametru drsnosti povrchu (z_0) pro kategorie land-cover [2]



Obr. 2.3 Parametr drsnosti povrchu v oblasti meteorologické stanice Červená [2]

Použití digitální mapy land-cover jako podkladu k vyhodnocení drsnosti povrchu je jistě výhodné vzhledem k jejímu pokrytí celého území ČR, ale její přesnost je tím do určité míry omezená (nerozlišuje výšku lesa, území pod hranicí rozlišitelnosti nejsou vyhodnocována). V té části výpočtu, kdy jsou data naměřená na meteorologických stanicích očišťována od místních vlivů, je parametr drsnosti povrchu jedním z klíčových faktorů ovlivňujících výsledek odstranění lokálních vlivů z naměřených dat. Nároky na přesnost určení tohoto parametru jsou tu proto vyšší a digitální mapy, které ho popisují, byly často v nejbližším okolí lokalit vstupních měření upraveny na základě zpracování údajů o poloze meteorologických stanic. [2]

Naměřené a modelované průměrné rychlosti větru a odchylky pro všechny tuzemské meteorologické stanice shrnuje *příloha 1*. [2]

Výsledkem výše popsaného výpočtu bylo množství polí proměnných charakterizujících větrné poměry. Pro každý bod výsledného pole jsou k dispozici geografické údaje: Gaussovy souřadnice středu čtverce, modelová nadmořská výška, výška nad povrchem. V každém uzlu sítě jsou také určeny následující klimatologické charakteristiky větru:

- celková průměrná rychlost větru
- parametr Weibullova rozdělení A a k
- hustota výkonu větru ve W/m^2 [2]

Výsledné pole průměrné roční rychlosti větru v 10 metrech nad povrchem uvádí *příloha 10*. [2]

Nejvyšší hodnoty se podle očekávání objevují na hřebenech nejvyšších pohoří, kde se průměrná rychlost větru dostává často i nad 6 m/s. V pohořích s nejčlenitějším reliéfem se naplno projevila vlastnost modelu WASP nadhodnocovat vliv malých orografických tvarů se strmými svahy. Vyšší hodnoty rychlosti větru nad velkými vodními plochami (jako jsou např. Nechranice nebo Lipno) jsou důsledkem velmi nízkého parametru drsnosti povrchu nad vodou, který je v modelu nastaven na standardních 0.0001 m. Nejrozsáhlejší plochy území s průměrnými rychlostmi větru nad 5 m/s se objevují v Krušných horách, Krkonoších a v Hrubém Jeseníku, lokálně se vyšší rychlosti vyskytují též na vrcholcích a nejvyšších hřebenech Beskyd, ojediněle i dalších pohoří (Javorníky, Doupovské hory, České Středohoří, Ještědský hřbet a Jizerské hory, Šumava, Bílé Karpaty). Rozsáhlejší plochy s rychlostmi větru nad 4 m/s se objevují v oblasti Žďárských vrchů a horního Posázaví, na pozvolných jihovýchodních svazích Českomoravské vrchoviny, v oblasti Dražanské vrchoviny, Oderských vrchů a Nízkého Jeseníku a lokálně též na výraznějších vrcholcích a hřebenech většiny dosud nejmenovaných pohoří České republiky. [2]

Nejnižší rychlosti větru ve výšce 10 m se vyskytují obecně v údolích a v oblastech s vysokou drsností terénu. Rozlehlejšími územími s nízkými rychlostmi větru jsou oblasti Sokolovské, Českobudějovické a Třeboňské pánve, dále pak severovýchodní část České tabule a severní část Hornomoravského úvalu. Zřetelně ohraničené oblasti menšího měřítka s výrazně sníženými rychlostmi větru ve výšce 10 m odpovídají větším městským aglomeracím a lesním komplexům, tedy územím s velkou drsností terénu. [2]

V každém z osmi sektorů směru větru byly ještě navíc vypočteny následující údaje:

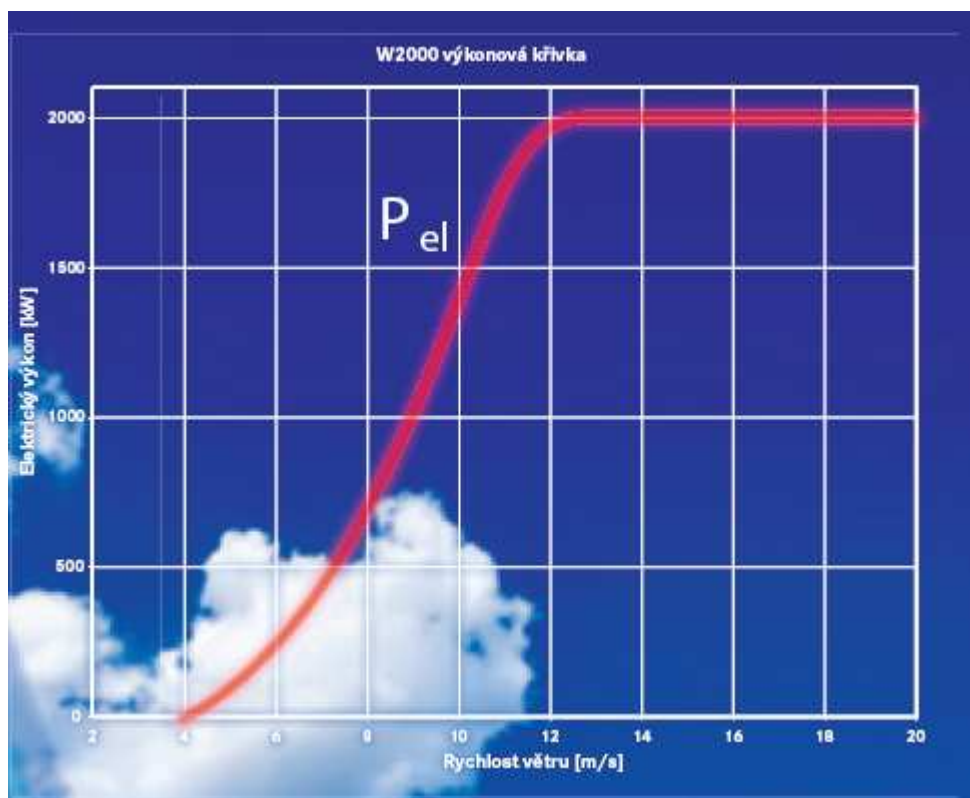
- průměrná rychlost větru a parametry Weibullova rozdělení A a k při proudění z daného směru a četnost takového proudění (definující větrnou růžici). [2]

Průměrnou rychlost větru z každého z osmi sektorů zobrazují přílohy 2-9. [2]

Při interpretaci těchto map musíme brát v úvahu fakt, že se nejedná o rozložení rychlosti větru při určité synoptické situaci, ale o průměrnou rychlost větru v případech, kdy na daném místě vane vítr z určitého sektoru. Z porovnání map pro vyplývají výrazné rozdíly mezi jednotlivými směry. Z pohledu celé České republiky s výjimkou Nízkého Jeseníku, Oderských vrchů a Moravské brány vane nejslabší vítr ze severního, severovýchodního a východního sektoru. V západní polovině území vane také velmi slabý vítr od jihovýchodu a jihu. Při proudění z těchto sektorů však dochází k výraznému zesílení větru v oblasti jižní Moravy, Českomoravské vrchoviny a severovýchodních Čech. Téměř na celém území České republiky pak vane relativně silný vítr z jihozápadního, severozápadního a především západního sektoru. To vyplývá z celkové převahy situací se západním prouděním ve střední Evropě. [2]

3 TECHNICKÉ PARAMETRY VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY VYBRANÉHO VÝROBCE WIKOW WIND

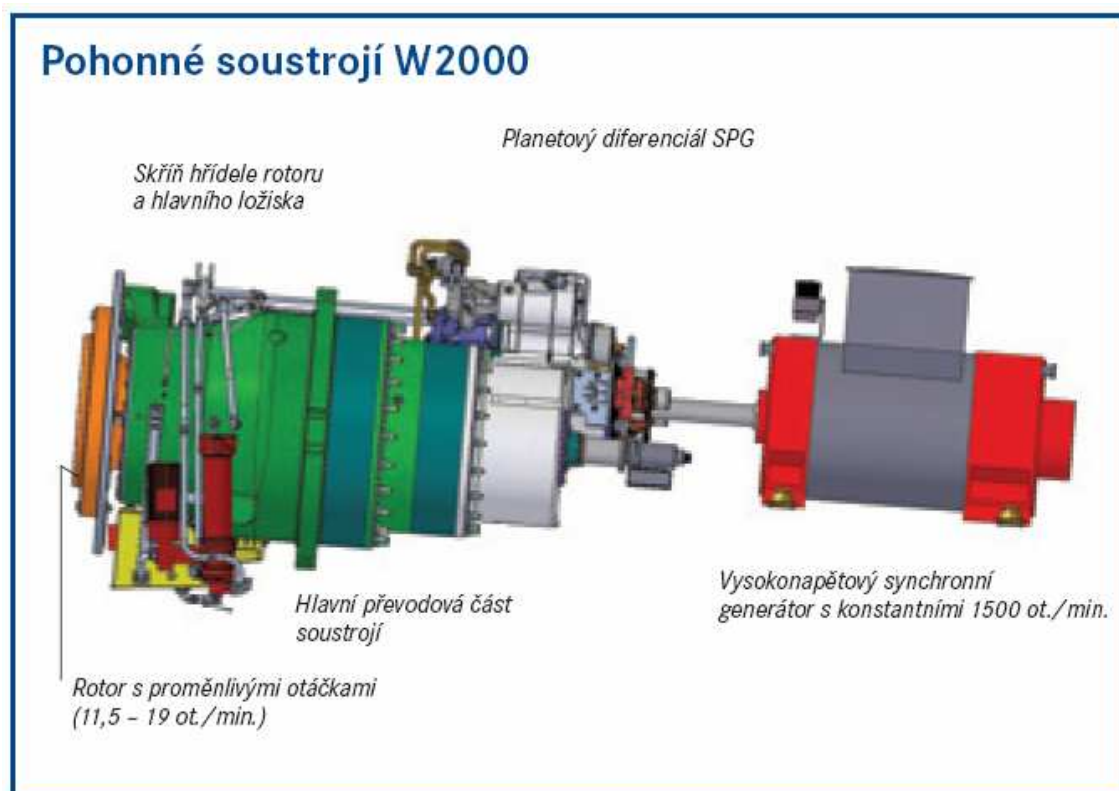
Nedílnou součástí pro využití větrného potenciálu je přeměna větrné energie na energii elektrickou. K tomu slouží samotná větrná elektrárna. Příkladem jsem vybral výrobce Wikow Wind. Jedná se o českou společnost patřící do strojírenské skupiny Wikov. Specializuje se na výrobu kompletních větrných elektráren a uplatňuje nejpokrokovější konstrukční řešení představující nový standard ve výrobě elektrické energie. Instalovaný výkon větrné elektrárny typu W2000 je 2MW. [7] Výkonová charakteristika je patrná z obr. 3.1



Obr. 3.1 Výkonová charakteristika větrné elektrárny W2000 [7]

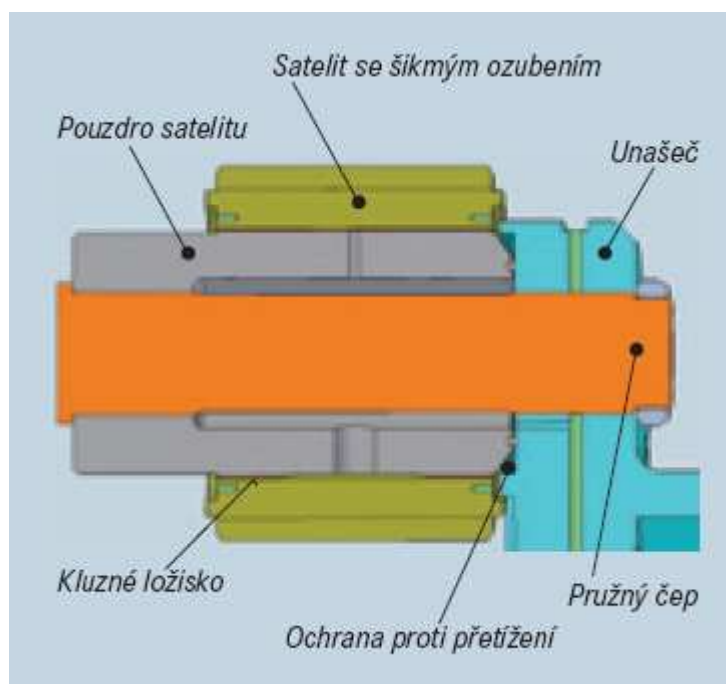
Pohonné soustrojí W2000 uplatňuje technologii, která sestává ze systému individuální regulace natáčení listů rotoru (Individual Pitch Control – IPC), které zajišťuje dynamické nastavení úhlu jednotlivých listů pro maximální účinnost získávání větrné energie v samém počátku v kombinaci, s převodovkou s integrálním systémem proměnlivého převodového poměru (Super Position Gear – SPG). Toto řešení poskytuje úplnou kontrolu nad přenosem energie získávané z vysoce volatilního prostředí větru a umožňuje výrobu elektrické energie pomocí standardního synchronního generátoru s konstantními otáčkami. Převodovka SPG vyvinutá společností ORBITAL2 je s rotorem větrné elektrárny přímo spojena vstupní hřídelí a sestává ze dvou planetových převodových stupňů následovaných zrychlujícím paralelním převodem a výstupem skrze planetový diferenciál na generátor. [7]

Regulace proměnlivého převodového poměru SPG je zajištěna speciálním vysoce sensitivním hydraulickým regulačním systémem. V případě, že poryvy větru způsobí nárůst přenášeného kroutícího momentu ve vztahu k daným otáčkám, potom automaticky dojde ke snížení převodového poměru a tím je umožněno rychlejší otáčení rotoru elektrárny v závislosti na síle a rychlosti větru. Toto umožňuje pohlcovat náhlé výkyvy větrné energie akcelerací rotoru na vyšší otáčky a zároveň tak dochází k ochraně celého pohonného soustrojí před destruktivními výkyvy přenášeného kroutícího momentu. [7]



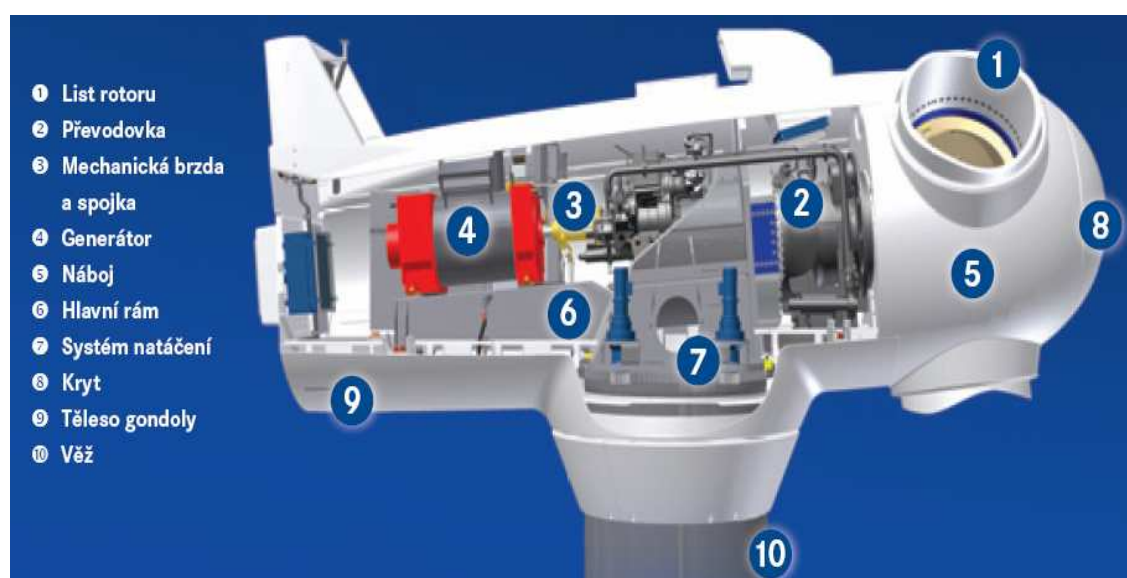
Obr. 3.2 Pohonné soustrojí [7]

Všechny planetové převody, které jsou součástí převodovek SPG, využívají technologii „pružných čepů“. viz. obr. 3.3 Konstrukční řešení planetového převodu s použitím správně navržených pružných čepů využívá pružnosti celého systému. Vlivem torzního zatížení dojde k pružným deformacím jednotlivých prvků pružných čepů a tím se ozubení satelitu dostane do optimální polohy pro záběr s protějším ozubeným kolem a dochází tak k rovnoměrnému rozložení podélného zatížení ozubení a současně je rovnoměrně rozděleno i zatížení jednotlivých ložisek. Díky rovnoměrnosti zatížení jednotlivých členů mechanismu je možné docílit snížení hmotnosti převodovky oproti konvenčním převodovkám stejného výkonu minimálně o 40% - 50% v závislosti na velikosti převodovky. [7]



Obr. 3.3 Pružné čepy s kluznými ložisky a integrovanou kontrolou kroutícího momentu [7]

3.1 Specifikace



Obr. 3.4 Schéma větrného motoru W2000 [7]

Tab. 3.1 Provozní data [7]

Typ, model	W2000
Zapojovací rychlost větru	3,5 m/s
Jmenovitá rychlost větru	12,5 m/s
Odpojovací rychlost větru	20,0 m/s
Odolnost do rychlosti větru	52,5 m/s
Výpočetní směrnice	Germanischer Lloyd
Typ, třída	TC IIIA
Životnost systému	20 let
Teplota okolí pro odstavné soustrojí	-25°C až 40°C
Teplota okolí při provozu	-15°C až 30°C
Počet listů rotoru	3
Osa rotoru	horizontální
Poloha vůči věži	proti větru
Průměr rotoru	80 m
Plocha rotoru	5026 m ²
Rozsah otáček	12-19 ot./min.
Jmenovité otáčky	17,4 ot./min.
Směr otáčení (pohled po větru	vpravo
Způsob regulace výkonu	natáčením listů
Sklon osy rotoru	4,5°
Délka listu	38,79 m
Hloubka profilu na konci listu	0,02 m
Max. hloubka profilu	3,08 m
Průměr čepu rotoru	1800 m
Úhel šípů	0,6°
Úhel kužele	0°
Materiál	epoxidový laminát
Bleskosvod	integrováný
Typ, model	EU80.1800-3
Dodavatel	Euros Polska Sp. z o. o.
Jmenovitý moment	1400 kNm
Maximální statický moment	5000 kNm
Typ převodu	planetový/čelní převod
Převodový poměr	1:125 – 1:79
Mazání převodovky	nucený oběh
Engineering převodovky	ORBITAL2
Výrobce převodovky	Wikov MGI
Spojení převodovky/generátor	elastická spojka

Řízení momentu	elektro-hydraulický princip
Výrobce	WINDTEC/Bosch Rexroth
Provozní brza	individuální natáčení listů
Aktivace	aktivní při pohonu
Typ	ozubení/servomotor
Mechanická brzda	kotoučová
Aktivace	při odstavení
Dodavatel	Svendborg Brakes
Typ generátoru	synchronní
Jmenovitý výkon	2000 kW
Krytí	IP54
Jmenovité napětí	3~/6,3 kV AC/50 nebo 60 Hz
Jmenovité napětí – opce	0,69 – 11,0 kV
$\cos \varphi$	standard 0,95 _{ind} – 0,95 _{cap}
Konstrukce	kuželovitý tubus z oceli
Standardní výška věže	78 m
Protikoroze ochrana	ochranný nátěr

4 REÁLNÉ MOŽNOSTI VYUŽITÍ VĚTRNÉ ENERGIE PRO VÝROBU ELEKTRICÉ ENERGIE NA ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY

Přestože naše republika nemá tak výhodné podmínky pro využití větrné energie jako přímořské státy (např. Dánsko, Velká Británie, Nizozemsko), existuje i u nás ve vnitrozemských podmínkách řada vhodných lokalit, kde lze instalovat větrné elektrárny, a to i velkých výkonů. Přírodní podmínky (za hranici využitelnosti se pro velké větrné elektrárny považuje průměrná roční rychlost větru 5 m/s ve výšce 10 m nad terénem) dovolují vybudovat mimo chráněné oblasti cca 900–1500 větrných elektráren. [3]

Technický, dostupný a využitelný potenciál využití větrné energie byl pro ČR hodnocen v řadě studií a řadou autorů. Výsledky stanoveného potenciálu se značně liší a pohybují se od cca 500 do 3000 MW instalovaného výkonu. Reálnější je odhad potenciálu spíše v dolní polovině tohoto rozsahu. Vyhodnocení potenciálu, které se nachází spíše v horní hranici uvedeného rozsahu, které bylo zpracováno v rámci studie zadané Ministerstvem životního prostředí v roce 2005, je shrnuto v následující tabulce. [3]

rychlost větru (m/s)	instalovaný elektrický výkon (MW)	předpokládaná výroba (GWh/rok)
4,1 - 5,0	2 571	2 236
5,1 - 6,0	8 208	12 312
> 6,0	888	1 776
Celkem technický	11 667	16 324
Celkem dostupný	3 000	4 000

Tab. 4 Potenciál větrné energie (model do roku 2050) [3]

Současné rozmístění staveb větrných elektráren na území České republiky zobrazuje příloha 11. [8]

5 KRITERIA PRO VÝBĚR NEJVHODNĚJŠÍ LOKALITY PRO STAVBU VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY

5.1 Všeobecné požadavky

Vymezení standardní formy zpracování pro posouzení větrných poměrů je důležité, abychom získali jakýsi minimální rozsah podkladů, kterými zpracováváme projekty výstavby větrné elektrárny (farmy). Tím se garantuje srovnatelnost různých posudků a zajišťuje tak dostatečná kvalita posouzení. [2]

Existují dvě úrovně posouzení větrných poměrů, které jsou určeny charakterem vstupní informace. V první úrovni se jedná o posouzení na základě dat, získaných z matematických modelů a dále je označujeme jako *předběžné posouzení*. Ve druhé úrovni jde o *posouzení* na základě výsledků měření meteorologických parametrů. Jak vyplývá z principu obou posouzení nelze je zaměňovat. [2]

Předběžné posouzení je sice časově i finančně méně náročné, ale obvykle není postačujícím podkladem pro jednání o případné půjčce u bankovního domu. Výsledek předběžného posouzení umožňuje určit, zda hodnocená lokalita je neperspektivní a tedy investice do měření je zbytečná. Další variantou výsledku je, že větrný potenciál je na rozhraní rentability připravovaného projektu a následné rozhodnutí podnikatele, zda hodlá podstoupit riziko investice do měření. Poslední a nejlepší variantou, je větrný potenciál hodnocené lokality zaručující rentabilitu projektu. Pak už je věcí podnikatele, zda investuje do měření. Otázkou zůstává oprávnění ke zpracování posouzení a legislativní rámec tohoto procesu. V každém případě by se mělo jednat o osoby s příslušným vzděláním. [2]

5.2 Předběžné posouzení větrných poměrů

Každé posouzení musí obsahovat základní informace:

- určení projektu zeměpisnými souřadnicemi stanoviště, včetně jeho zeměpisného názvu a nadmořské výšky stanoviště
- jménem a adresou objednatele
- jménem (jmény) zpracovatele, včetně podpisu, označením organizace nebo společnosti, kde bylo posouzení zpracováno; datem zpracování [2]

5.3 Vliv blízkého a vzdáleného okolí na proudění

V této části se uvede:

- stručný popis lokality se zřetelem na směrové rozložení parametru drsnosti, případně popis významných překážek ovlivňujících proudění

- vliv tvaru terénu ve vzdálenosti stovek m a několika málo km na větrné poměry lokality [2]

5.4 Metody výpočtu větrných charakteristik a výsledky výpočtu

Tato část obsahuje:

- specifikaci meteorologických dat použitých k výpočtu
- stručný popis použitých matematických modelů se zřetelem na pravděpodobné chyby výpočtu
- pro výšku 10 m a dále po deseti metrech následující charakteristiky :
 - průměrnou roční rychlost větru
 - parametry A , k Weibullova rozdělení
 - hustotu výkonu větru
 - roční produkci elektrické energie daným typem větrné elektrárny ve výškách dodávaných sloupů
 - větrnou růžici ve výšce 10 m [2]

5.5 Výpočet ztrát stíněním

Jedná-li se o projekt výstavby farmy větrných elektráren, pak vhodným programem (WAsP) se určí ztráty vzniklé stíněním v závislosti na vypočtené větrné růžici a vypočtené rychlosti větru a určí se „čistá“ výroba. [2]

5.6 Hlukové emise a stroboskopický efekt

Na základě dat výrobce větrné elektrárny o hlukové emisi, jakož i empirických zkušeností se zhodnotí vhodnost lokality pro stavbu větrné elektrárny, případně farmy. Stroboskopický efekt se určí vhodným programem. [2]

5.7 Produkce elektrické energie blízkou větrnou elektrárnou

Pokud v blízkém okolí existuje větrná elektrárna (či větrná farma), uvedou se údaje o její produkci (měsíční, roční). [2]

5.8 Závěrečné vyhodnocení

Na základě výpočtu roční produkce elektrické energie se určí stupeň vhodnosti lokality pro výstavbu větrné elektrárny, případně farmy. Uvede se vliv očekávané hlukové emise, stroboskopického efektu, vzdálenost k vedení VN a možnost příjezdu stavební techniky. Zhodnotí se očekávaný vliv námrazy pomocí „námrazové mapy“. [2]

ZÁVĚR

V bakalářské práci jsem obecně pojednával o potenciálu využití větrné energie v České Republice. Nejprve jsem se zabýval měřením charakteristik větru a přístroji, které se pro měření rychlosti větru používají. Už zde se musí dávat velký pozor, na jakých místech a jakým způsobem jsou měřicí přístroje umístěny, aby nedošlo k zanášení chyb do výpočetních modelů.

V následujícím bodě jsem popsal dva typy výpočetních modelů, které se používají pro vyhodnocování větrného potenciálu. Tyto modely jsou nezbytné k tomu, abychom dostali jakýsi ucelený obraz o větrných podmínkách na našem území.

Nedílnou součástí, která je třeba pro přeměnu větrné energie na energii elektrickou, je samotná větrná elektrárna. Vybral jsem tedy tuzemského výrobce Wikov Wind a vypsals jsem specifické vlastnosti a údaje.

Nejdůležitější součástí pro stavbu větrné elektrárny či farmy je splnění všech požadovaných kritérií, o kterých jsem se zmínil v posledním bodě této bakalářské práce.

Vítr, na kterém je výroba elektrické energie závislá, je natolik nestálá a proměnlivá veličina, že s ní můžeme počítat pouze jako s doplňkovým zdrojem energie pro výrobu energie elektrické.

Reálné využití větrné energie v České republice je dost omezené. Důvodem jsou ne zrovna ideální povětrnostní podmínky, které na našem území panují.

Nicméně určitý potenciál v České Republice existuje a měl by být využit.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

Literatura

- [1] Rychteník, V. – Janoušek, J. – Pavelka, J. *Větrné motory a elektrárny*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997. 199s. ISBN: 80-01-01563-7

Elektronické zdroje

- [2] Výzkum vhodnosti lokalit v ČR z hlediska zásob větrné energie a zpracování metodiky pro posuzování a schvalovací řízení při zavádění větrných elektráren [online] [cit. 30.4.2008]
URL:<<http://www.ufa.cas.cz/html/dllouka/info/vav/vav.html>>
- [3] Příručka obnovitelné zdroje energie [online] [cit. 30.4.2008]
URL:<http://www.businessinfo.cz/files/2005/061106_oborova-prirucka-oze.pdf>
- [4] O větrných elektrárnách [online] [cit. 30.4.2008]
URL:<http://www.zpravodaj.ceskatrebova.cz/2006/3_06web/vetrne_elektrarny.htm>
- [5] Anemometr – Wikipedie, otevřená encyklopedie [online] [cit. 30.4.2008]
URL:<<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Anemometer.jpg>>
- [6] Ultrasonický anemometr – Ústav systémové biologie a ekologie Akademie věd ČR [online] [cit. 30.4.2008]
URL:<<http://www.usbe.cas.cz/lefr/toky.htm>>
- [7] Větrná elektrárna W2000 Wikov Wind [online] [cit. 30.4.2008]
URL:<http://www.wikov.com/wind/pdf/w2000spg_cz.pdf>
- [8] Přehled větrných elektráren s výkonem nad 100 kW [online] [cit. 30.4.2008]
URL:< http://www.czrea.org/files/images/mapa_VTE.jpg>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

wmo	indikativ stanice
X,Y,Z	Gaussovy souřadnice, nadmořská výška
u	naměřená průměrná rychlost
u-mod	modelovaná průměrná rychlost
du	odchyly mezi naměřenými a modelovanými průměrnými rychlostmi

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 - Naměřené a modelované průměrné rychlosti větru a odchylky pro všechny tuzemské meteorologické stanice
- Příloha 2 - Průměrná rychlost větru v 10m ze severního sektoru
- Příloha 3 - Průměrná rychlost větru v 10m ze severovýchodního sektoru
- Příloha 4 - Průměrná rychlost větru v 10m z východního sektoru
- Příloha 5 - Průměrná rychlost větru v 10m z jihovýchodního sektoru
- Příloha 6 - Průměrná rychlost větru v 10m z jižního sektoru
- Příloha 7 - Průměrná rychlost větru v 10m z jihozápadního sektoru
- Příloha 8 - Průměrná rychlost větru v 10m ze západního sektoru
- Příloha 9 - Průměrná rychlost větru v 10m ze severozápadního sektoru
- Příloha 10 - Průměrná rychlost větru v 10m

PŘÍLOHA 1

Tab. 5 Naměřené a modelované průměrné rychlosti větru
Metoda VAS/WAsP [7]

wmo	název	X	Y	Z	u	u-mod	du
11406	Cheb	3314050	5552250	483	2,36	2,28	-0,08
11414	Karlovy Vary - letiště	3351043	5565524	603	2,51	3,33	0,82
11417	Krásné Údolí	3351601	5551049	642	2,97	3,20	0,23
11419	Konstantinovy Lázně	3354700	5530110	522	2,27	2,19	-0,08
11420	KLÍNOVEC	3355571	5587130	1244	4,98	5,17	0,19
11423	Přimda	3332618	5506803	742	4,56	3,67	-0,89
11425	Mutěnin	3337192	5492889	480	2,40	3,23	0,83
11430	Měděnec - Kotlina	3367433	5590369	828	3,95	3,63	-0,32
11432	Nová Ves v Horách	3392924	5607976	725	4,43	4,63	0,20
11433	Kopisty (ÚFA AV ČR)	3402540	5602422	240	2,27	2,13	-0,14
11437	Blšany u Loun	3390689	5566248	300	2,27	2,62	0,35
11438	Kadaň - Tušimice	3381192	5584189	322	3,35	2,78	-0,57
11449	Plzeň - město	3383102	5512806	335	1,96	1,88	-0,08
11455	Klatovy	3376619	5474734	430	1,99	2,09	0,10
11464	MILEŠOVKA (ÚFA AV ČR)	3424393	5603237	833	7,06	7,00	-0,06
11465	Smolnice	3418636	5575968	345	2,37	3,11	0,74
11478	Zbiroh - Švabín	3410413	5525579	480	2,53	3,16	0,63
11483	Rožmitál pod Třemšínem	3418123	5497546	524	3,00	2,72	-0,28
11487	Kocelovice	3416102	5482342	519	3,63	3,75	0,12
11491	Strakonice	3421822	5458279	423	2,81	2,45	-0,36
11494	Horská Kvilda	3395436	5436467	1048	4,70	4,15	-0,55
11502	Ústí nad Labem - Kočkov	3432311	5617441	375	3,19	3,36	0,17
11509	Doksany	3441222	5592329	158	2,63	2,38	-0,25
11518	Praha - Ruzyně	3447020	5552466	364	3,89	3,71	-0,18
11520	Praha - Libuš	3460558	5542060	303	2,36	2,89	0,53
11533	Olešná	3450206	5468176	452	1,73	3,10	1,37
11538	Temelín	3452144	5451846	503	3,38	2,71	-0,67
11546	České Budějovice	3461476	5424617	395	1,98	1,95	-0,03
11554	Česká Lípa	3467793	5616208	252	2,10	2,34	0,24
11561	Semčice	3500413	5581840	234	2,42	2,10	-0,32
11563	Brandýs nad Labem	3475942	5562145	179	2,09	2,61	0,52
11567	Praha - Kbely - let.	3467405	5554620	282	3,00	3,34	0,34
11582	Tábor - Náchod	3475585	5478231	461	2,20	2,58	0,38
11583	Černovice - Dobešov	3497352	5469547	586	3,47	2,27	-1,20
11585	Borkovice	3473712	5453095	419	2,19	2,51	0,32
11589	Třeboň	3483482	5430780	429	1,86	2,27	0,41
11593	Nové Hradky - Byňov	3485458	5409273	475	2,25	2,29	0,04
11603	Liberec	3501822	5626620	398	3,42	2,83	-0,59
11604	Nové Město pod Smrkem	3516548	5643580	473	3,01	3,23	0,22
11605	Desná - Souš	3522639	5628835	772	2,90	2,47	-0,43

wmo	název	X	Y	Z	u	u-mod	du
11606	Harrachov	3530848	5626956	670	2,43	1,51	-0,92
11608	Hejnice	3513030	5639388	396	2,87	2,37	-0,50
11610	Turnov	3510812	5605754	252	2,35	1,57	-0,78
11611	Holenice	3521562	5600029	432	1,83	2,07	0,24
11616	Krásné - televizní vysílač	3553172	5521529	613	3,95	3,85	-0,10
11619	Přelouč - VČE	3541092	5546027	209	3,10	3,00	-0,10
11621	Radovesnice II.	3526470	5552904	227	3,00	2,56	-0,44
11624	Chotusice - let.	3527820	5534602	235	2,92	2,99	0,07
11628	Křešín - Kramolín	3505829	5493526	534	3,09	3,62	0,53
11632	Nový Rychnov	3526614	5472740	624	2,85	2,45	-0,40
11634	Počátky	3519373	5459272	647	2,45	2,63	0,18
11635	Jindřichův Hradec	3496904	5447592	525	2,52	2,58	0,06
11636	Kostelní Myslová	3532109	5447556	569	3,13	2,55	-0,58
11652	Pardubice - let.	3553201	5543044	225	2,84	3,18	0,34
11659	Přibyslav	3555305	5494869	530	4,36	3,36	-1,00
11660	Vatín	3570174	5488390	555	2,80	3,93	1,13
11676	Rokytnice v Orlických horách	3604458	5560308	572	2,20	3,49	1,29
11678	Velichovky	3559798	5580724	320	2,29	2,04	-0,25
11679	Ústí nad Orlicí	3602138	5539729	402	3,43	2,77	-0,66
11683	Svratouch	3574636	5512027	737	5,41	4,91	-0,50
11685	Nedvězí	3594724	5501142	722	4,88	4,03	-0,85
11686	Bystřice nad Pernštejnem - Nový Dvůr	3590661	5487734	573	3,06	3,40	0,34
11693	Dukovany	3582978	5440991	400	4,10	4,04	-0,06
11696	Dyjkovice	3595621	5405384	201	3,02	2,95	-0,07
11698	Kuchařovice	3579760	5417134	334	3,78	3,18	-0,60
11710	Luká	3641186	5504179	510	4,29	3,68	-0,61
11716	Protivanov	3632816	5484520	670	3,85	4,21	0,36
11723	Brno - Tuřany - let.	3623794	5448917	241	3,60	3,05	-0,55
11729	Brod nad Dyjí	3612791	5416825	175	3,08	2,61	-0,47
11732	Zlaté Hory - Rejvíz	3664586	5569088	757	3,29	3,05	-0,24
11735	PRADĚD	3660003	5552590	1490	7,82	7,38	-0,44
11737	Rýmařov - Harrachov	3664181	5538307	645	3,43	3,22	-0,21
11748	Přerov - let.	3674785	5479547	203	2,71	2,93	0,22
11754	Staré Město u Uherského Hradiště	3677768	5442769	235	3,18	2,95	-0,23
11755	Strážnice	3671556	5421103	176	3,16	2,73	-0,43
11765	Bělotín	3702863	5498842	298	2,45	2,78	0,33
11766	ČERVENÁ	3683213	5519286	750	4,11	3,65	-0,46
11774	Holešov	3687174	5468428	224	2,55	2,71	0,16
11782	Mošnov - let.	3725213	5511645	251	3,55	3,24	-0,31
11784	Lučina - přehrada Žermanice	3748296	5516749	300	2,67	3,20	0,53
11785	Frenštát pod Radhoštěm	3734634	5494954	436	2,22	3,24	1,02
11787	LYSÁ HORA	3749601	5496223	1324	6,52	7,19	0,67
11795	Karviná - Staré Město	3752979	5532402	222	3,38	2,57	-0,81
12510	Sněžka	3551895	5622820	1603	12,6 8	11,91	-0,77

wmo indikativ stanice

X,Y,Z Gaussovy souřadnice, nadmořská výška

u naměřená průměrná rychlost

u-mod modelovaná průměrná rychlost

du odchylky mezi naměřenými a modelovanými průměrnými rychlostmi